



مطالعه تجربی اثر ماریچ در ناحیه گذار به دتونیشن

مسعود عیدی عطارزاده^۱، محمد فرشچی^{۲*}، کاوه قربانیان^۲

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده هوافضا

* نویسنده مخاطب: farshchi@sharif.edu

چکیده

هدف از مقاله پیش‌رو، بررسی تجربی اثر ابعاد هندسی ماریچ مورد استفاده در ناحیه DDT، بر کیفیت دتونیشن تولیدی است. لذا آزمایش‌های گسترده‌ای برای بررسی اثر ابعاد هندسی ماریچ بر طول ناحیه DDT و کیفیت دتونیشن انجام شد. از آنجا که انرژی داده شده مخلوط به اندازه انرژی بحرانی نیست، لذا پدیده DDT رخ می‌دهد در این آزمایش‌ها از مخلوط استوکیومتری هیدروژن و اکسیژن استفاده شده و ماریچ‌ها در ابتدای لوله‌ای با قطر ۲/۵ و طول ۷۰ cm قرار گرفتند. با معرفی معیارهای دتونیشن مطلوب و بررسی نتایج آزمایش‌ها و نزدیکی جواب‌ها از صحت کار اطمینان حاصل شد. در نهایت برای انتخاب ماریچ برتر، معیارهایی بر اساس پدیده دتونیشن همراه با ضریب تعریف گردید و ماریچ‌ها امتیاز بندی شدند که سه ماریچ حائز بیشترین امتیاز، انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: دتونیشن - موتور پالس دتونیشن - ناحیه گذار به دتونیشن - ماریچ.

۱- مقدمه

به طور کلی دو نوع احتراق در موتورهای راکتی وجود دارد. نوع اول دفلگريشن (Deflagration) است که در آن شعله ناشی از احتراق سوخت و اکسیدکننده با سرعت چند متر بر ثانیه درون لوله حرکت می‌کند. نوع دوم احتراق دتونیشن است که با سرعت چند هزار متر بر ثانیه حرکت می‌کند. موج با حرکت خود سیال جلوی خود را فشرده کرده و باعث بالا رفتن چگالی، فشار و در نتیجه دما می‌شود که این افزایش دما سبب شروع فعالیت‌های شیمیایی می‌شود. موج دتونیشن چپمن-جوگوت (Chapman-Jouguet) (CJ) شامل یک موج شوک است که با یک ناحیه اشتعال بسیار نازک پشت آن ترکیب شده است. فشار بالای ایجاد شده توسط دتونیشن بدون نیاز به هیچ کمپرسوری باعث الهام گرفتن از آن در سایر ادوات شده است. [۱] یکی از کاربردهای دتونیشن، استفاده از آن در موتورهای پالس دتونیشن (Pulse Detonation Engine) است. این موتور در نوع ساده شده آن، متشکل از یک لوله با نسبت طول به قطر داخلی بالا با یک انتهای باز، سامانه تغذیه و سامانه اشتعال است. در این لوله از تکرار سریع فرآیند دتونیشن برای تولید تراست استفاده می‌شود. PDE ها به دلیل استفاده از فرآیند دتونیشن و سیکل هامفری، دارای مصرف سوخت کم‌تر و بازده ترمودینامیکی بالاتر هستند. در صورتی که موتور بتواند ۵۰ تا ۲۰۰ مرتبه این چرخه را در یک ثانیه تکرار کند، نیروی پیشران قابل توجهی را تولید می‌کند. [۲] سادگی، راحتی تغییر اندازه، مصرف سوخت کم و توانایی تولید تراست در سرعت صفر تا ماخ ۵ سبب شده [۳] تا به عنوان پیشرانی جدید، تحقیقات بسیاری در سرتاسر جهان روی آن انجام شود.

در حالت آزمایشگاهی برای تولید دتونیشن، با تزریق انرژی ناگهانی به سیستم، دتونیشن در همان ابتدا به وجود می‌آید. که به آن انرژی بحرانی اولیه (E_c) گفته می‌شود. انرژی بحرانی اولیه این برای مخلوطی مانند هیدروژن و اکسیژن در شرایط عادی ۱/۶ ژول است [۴] که البته برای کاربرد موتور هوایی بسیار زیاد است. با دادن انرژی کم، فرآیند گذار از دفلگريشن به

۱- دانشجوی ارشد دانشکده هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف.

۲- استاد دانشکده هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف.

FCCI2010-4186

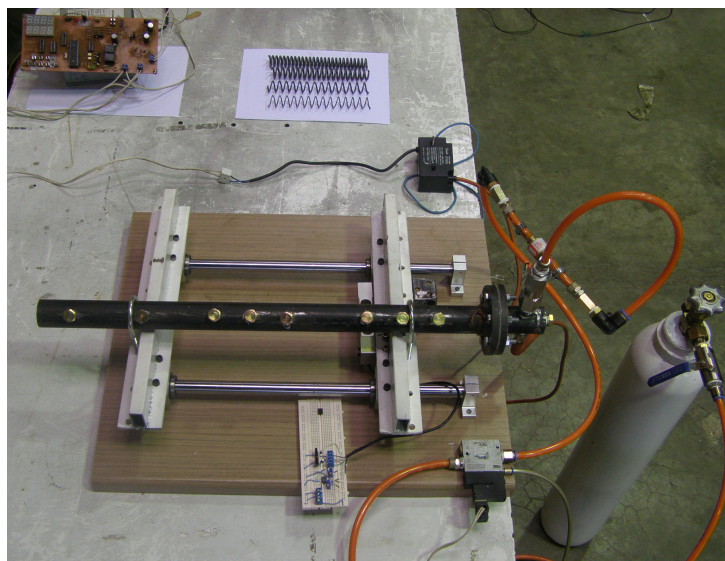
دتونیشن (Deflagration to Detonation Transition) اتفاق می‌افتد. این فرآیند زمان‌بر بوده و لازم است تا زمان و طول آن کوتاه شود. به طور کلی استفاده از وسایل برای پدیده DDT باعث بهبود بازده PDE می‌شود هر چند که اثر آن برای سوخت هیدروژن کم است اما برای سوخت‌های سنگین‌تر این امر مشهودتر است. [۵] هر چه طول پدیده DDT کوتاه‌تر باشد، درصد بیشتری از فرآیند احتراق به صورت دتونیشن خواهد بود و در نتیجه بازده ترمودینامیکی موتور بالا می‌رود. پدیده DDT دارای پیچیدگی‌های زیادی است. اساس کار وسایلی که برای بهبود این ناحیه استفاده می‌شود، بر افزایش میزان توربولانس است. این افزایش توربولانس سبب افزایش نرخ سوزش می‌شود زیرا سطح مقطع شعله و جابجایی محلی جرم و انرژی می‌شود. [۶] این ناحیه، با انفجارهای پراکنده شروع می‌شود که بسیار به ساختار هندسی محیط وابسته است. در تحقیقات بسیار زیادی که در این مورد انجام شده، رخداد انفجار در انفجار به صورت معمول دیده شده است. [۷]

وسایل زیاد با شکل‌های بسیار متفاوت را می‌توان برای DDT به کار برد، و از میان همه آن‌ها در این تحقیق از مارپیچ شلخین (Schelkin Spiral) استفاده شده است. مارپیچ باعث چرخش سیال، احتراق پیشی و در نتیجه افزایش توربولانس ناحیه ابتدای لوله می‌شود که در کل سبب کاهش طول ناحیه DDT می‌شود. به دلیل پیچیدگی حاکم بر پدیده، نمی‌توان وسیله‌ای را بر وسیله‌ای دیگر رجحان داد و دلیل انتخاب ما، سادگی هندسه، سادگی ساخت و امکان تغییر دادن پارامترهای هندسی آن است.

هدف از تحقیق پیش‌رو، بررسی تجربی اثر ابعاد هندسی مارپیچ مورد استفاده در ناحیه DDT، بر کیفیت دتونیشن تولیدی است تا بدین وسیله بهترین مارپیچ‌ها که دتونیشن با کیفیت بهتر در آن‌ها در کوتاه‌ترین فاصله از ابتدای بسته لوله تشکیل می‌شود انتخاب شوند. از مارپیچ‌های بدست آمده در تحقیقات آتی در مورد بررسی تجربی عملکرد PDE استفاده خواهد شد.

۲- دستگاه آزمایش

دستگاه آزمایش از یک لوله دتونیشن و سامانه‌های تغذیه، اشتعال و داده برداری تشکیل شده است که در ادامه به شرح آن می‌پردازیم. شکل ۱ نمایی از دستگاه آزمایش و شکل ۲ شماتیک همه سامانه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمایی از دستگاه آزمایش همراه با مارپیچ‌های استفاده شده.

۱-۲- لوله دتونیشن

آزمایش‌ها در لوله‌ای به طول ۷۰ cm و قطر داخلی ۲/۵ cm و ضخامت جداره ۰/۷۵ cm انجام شده اند. این لوله از یک طرف کاملاً باز بوده و در سوی دیگر بسته است که به ترتیب انتهای باز و ابتدای بسته نامیده می‌شود. مخلوط مورد نظر از ابتدای بسته وارد می‌شود و توسط شمعی که در همان ناحیه قرار دارد، مشتعل شده و محصولات احتراق از انتهای باز خارج می‌شوند. مارپیچ‌های مورد آزمایش در ابتدای بسته قرار می‌گیرند. برای سهولت قرار دادن آن‌ها، لوله به فاصله ۶ cm از ابتدا به دو تکه تبدیل شده و توسط فلنج به هم متصل شده اند.

۲-۲- سامانه تغذیه

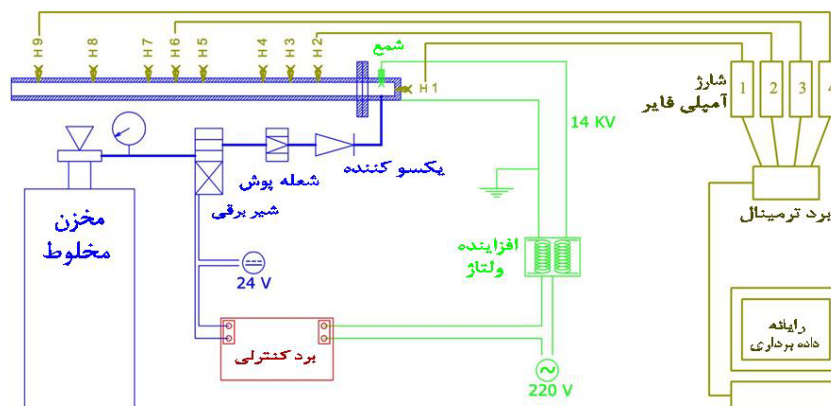
مخلوط اکسیژن و هیدروژن درون کپسول ثالث با حجم ۱۰/۲ لیتر آماده می‌گردد. برای تعیین نسبت استوکیومتری نیز از شیوه فشارهای جزیی در حین پر کردن کپسول استفاده می‌شود. مخلوط فوق الذکر از طریق لوله‌ای از کپسول به ابتدای لوله وارد می‌شود میزان مخلوط وارد شده به لوله دتونیشن توسط شیر برقی سریع که از یک برد کنترلی فرمان می‌گیرد تنظیم می‌شود. برای افزایش ایمنی، شیر یک‌سو کننده همراه با شعله‌پوش برای جلوگیری از برگشت جریان و شعله در مسیر خط لوله تغذیه قرار دارند.

۳-۲- سامانه اشتعال

سامانه اشتعال از یک افزایشنده ولتاژ و یک شمع موتور خودرو و سیم‌های رابط تشکیل شده است. افزایشنده ولتاژ، با ورودی برق ۲۲۰ ولت شهری، ولتاژ خروجی ۱۴ KV تولید می‌کند که ولتاژ مورد نیاز برای ایجاد جرقه درون شمع است. در این سامانه، برد کنترلی، با وصل کردن جریان برق ورودی (۲۲۰ ولت) مدار را فعال می‌کند و باعث ایجاد جرقه در شمع و اشتعال مخلوط درون لوله می‌شود.

۴-۲- سامانه داده برداری

برای اندازه‌گیری فشار در طول لوله دتونیشن از چهار سنسور فشار پیزوالکتریک استفاده شده است. سنسورها از نوع ۶۰۳B و ۷۰۱A بوده که از طریق شارژ آمپلی‌فایرهای مربوطه به رایانه داده برداری متصل هستند که قادر است هم‌زمان از هر سنسور حداکثر ۲۵۰ هزار بار در ثانیه داده فشار بخواند.

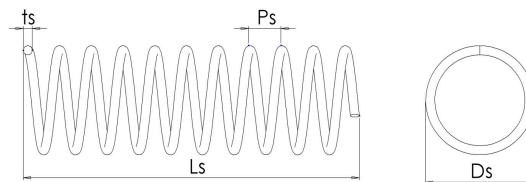


شکل ۲- چیدمان سامانه‌های مختلف دستگاه آزمایش. H1 تا H9 محل نصب سنسورهای فشار است.

برای نصب سنسورها، ۹ سوراخ در طول لوله ایجاد شده است. مکان سوراخ‌ها به گونه‌ای تعبیه شده است که در هر آزمایش، یک سنسور روی ابتدای بسته لوله، دومین سنسور به اندازه یک قطر لوله پس از انتهای ماریپیچ، چهارمین سنسور به اندازه ۲ قطر لوله مانده به انتهای باز لوله و سومین سنسور حد وسط سنسورهای دوم و چهارم باشد. دلیل فاصله گرفتن سنسور دوم از انتهای ماریپیچ آن است که در ناحیه ماریپیچ، دتونیشن به صورت چرخان حرکت می‌کند و بعد از طی فاصله‌ای حدود یک قطر لوله از انتهای ماریپیچ به موج دتونیشن صفحه‌ای تبدیل می‌شود. [۷] بنابراین برای اندازه‌گیری پدیده دتونیشن صفحه‌ای لازم است تا سنسور از انتهای ماریپیچ قدری فاصله داشته باشد.

۳- ماریپیچ‌ها

هر ماریپیچ دارای چهار طول مشخصه است که موجب تمایز آن می‌شود. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، این مشخصه‌ها عبارتند از: طول ماریپیچ (L_s)، گام ماریپیچ (P_s)، قطر خارجی ماریپیچ (D_s) و ضخامت مفتول استفاده شده (T_s) است. به جز قطر خارجی ماریپیچ که برای همه ماریپیچ‌ها برابر است، بقیه اندازه‌های ذکر شده تغییر می‌کنند.



شکل ۳- شکل ماریپیچ و ابعاد مشخص کننده آن.

برای این که پدیده گذار به خوبی انجام شود، لازم است تا ماریپیچ حداقل از هر طرف به اندازه یک سلول دتونیشن مخلوط مورد استفاده از دیواره داخلی لوله دتونیشن فاصله داشته باشد. از آنجا که اندازه سلول دتونیشن مخلوط استوکیومتری هیدروژن و اکسیژن در شرایط اتمسفریک و دمای ۳۰۰ K برابر با ۱/۵ mm بوده [۴] و قطر داخلی لوله دتونیشن ۲۵ mm است، پس بیشترین قطر خارجی ماریپیچ برابر با ۲۲ mm می‌شود. لذا همه ماریپیچ‌ها دارای قطر خارجی ۲۲ mm هستند. هر کدام از ابعاد دیگر ماریپیچ، سه مقدار متفاوت که در جدول ۱ نشان داده شده است را به خود می‌گیرند. توجه شود که طول ماریپیچ‌ها معادل ۴D، ۶D و ۸D هستند. لذا با توجه به این تغییرات در مجموع ۲۶ ماریپیچ با ابعاد مختلف ساخته شده است.

جدول ۱- ابعاد ماریپیچ‌های مختلف آزمایش.

متغیر	اندازه به میلی‌متر
طول ماریپیچ	۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰
گام	۱۴، ۱۰، ۸
ضخامت مفتول ماریپیچ	۳/۵، ۳، ۲

اگر نسبت انسداد را به صورت نسبت مساحت سطح مقطع اشغال شده توسط ماریپیچ به مساحت سطح مقطع داخلی لوله تعریف شود، ماریپیچ‌های فوق‌الذکر دارای نسبت‌های انسداد ۰/۲۵۶، ۰/۳۶۵ و ۰/۴۱۴ هستند. هر ماریپیچ بنا بر مشخصات هندسی آن نام‌گذاری شده است که در ادامه مقاله بدان نام خوانده می‌شود. قاعده کلی به صورت $L##P##T##$ است که اعداد بعد از L نشان دهنده طول ماریپیچ به سانتی‌متر، اعداد بعد از P نشان دهنده گام ماریپیچ به میلی‌متر و عدد بعد از T نشان دهنده ضخامت مفتول به میلی‌متر است. (برای مفتول‌ها با ضخامت ۳/۵ به اختصار عدد ۴ به کار برده شده است)



۴- آزمایش‌ها

در تمام آزمایش‌ها یک سری از پارامترها ثابت می‌باشند که این پارامترها در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. برای اطمینان از صحت داده و نیز تکرار پذیری آزمایش‌ها، هر آزمایش برای یک ماریپج مشخص، چهار بار تکرار شده است. برخی از آزمایش‌ها که به طور واضح عملکرد نامناسب سامانه‌ها دیده می‌شد، نیز تکرار شد تا حداقل برای هر ماریپج ۴ آزمایش در شرایط مناسب همراه با صحت عملکرد دستگاه‌ها انجام شود. در مجموع ۱۲۵ آزمایش انجام شد.

جدول ۲- پارامترهای ثابت در آزمایش‌ها همراه با اندازه آن‌ها.

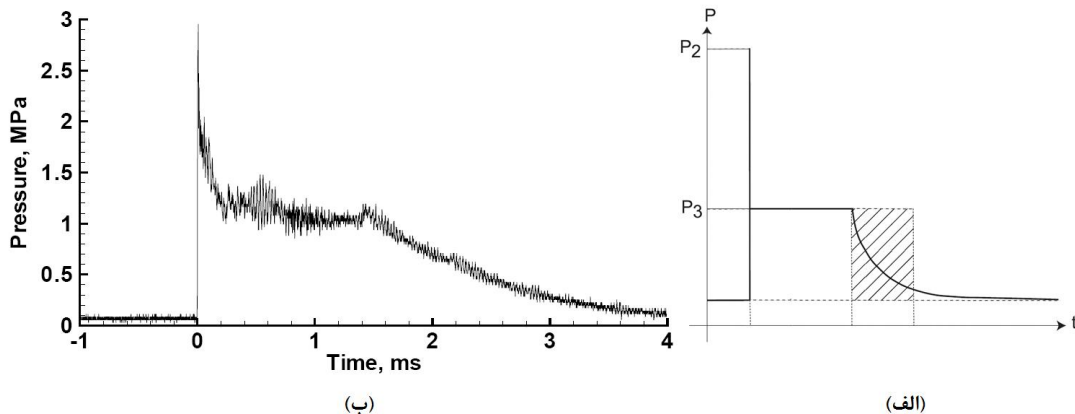
اندازه	پارامتر
cm۷۰	طول لوله دتونیشن
mm۲۵	قطر داخلی لوله دتونیشن
هیدروژن	سوخت
اکسیژن	اکسیدکننده
۱	نسبت اختلاط سوخت و اکسیدکننده (φ)
۱	نسبت حجم مخلوط ورودی به حجم لوله دتونیشن
msec۲۰	فاصله زمانی بین فرمان قطع شیر برقی و شروع جرقه
msec ۱۰	بازه زمانی تولید جرقه
۲۲ درجه سانتی‌گراد	دمای محیط

همان طور که اشاره شد، اولین سنسور بر روی دیواره ابتدای لوله نصب شده و دومین سنسور به اندازه یک قطر لوله پس از انتهای ماریپج نصب می‌شود. بدین ترتیب برای ماریپجهای با طول ۱۰ cm، سنسور دوم در سوراخ ۲ و برای ماریپجهای با طول ۱۵ cm در سوراخ ۳ و برای ماریپجهای با طول ۲۰ cm در سوراخ ۴ نصب شده‌اند. در حالت ماریپج با طول ۲۰ cm لازم است تا سنسور سوم از سوراخ ۶ به سوراخ ۷ منتقل شود. سنسور چهارم نیز در تمامی آزمایش‌ها در سوراخ ۹ نصب می‌شود. برای جلوگیری از هرگونه خطای پیش‌بینی نشده و نیز قابلیت مقایسه آزمایش‌ها با هم، سعی شده است تا ترتیب نصب سنسورها، شارژ آمپلی فایرها و کانال‌های کارت A/D عوض نشود.

۵- نتایج آزمایش‌ها

سنسورهای پیزو الکتریک با نرخ بالای داده برداری قادر به سنجش فشار موج شوک با سرعت بالا هستند. همان طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، نمودار فشار زمان موج دتونیشن دارای افزایش فشار ناگهانی بوده که پس از آن به تدریج فشار کاهش می‌یابد. این افزایش فشار ناگهانی مربوط به موج شوکی است که در جلو جبهه احتراق حرکت می‌کند. با استفاده از این افزایش فشار ناگهانی به عنوان معیار، می‌توان زمان رسیدن موج دتونیشن به سنسورها را از داده‌های آزمایش استخراج نمود. با دانستن فاصله میان سنسورها و زمان رسیدن موج دتونیشن، سرعت میانگین موج درون لوله محاسبه می‌شود.

FCCI2010-4186



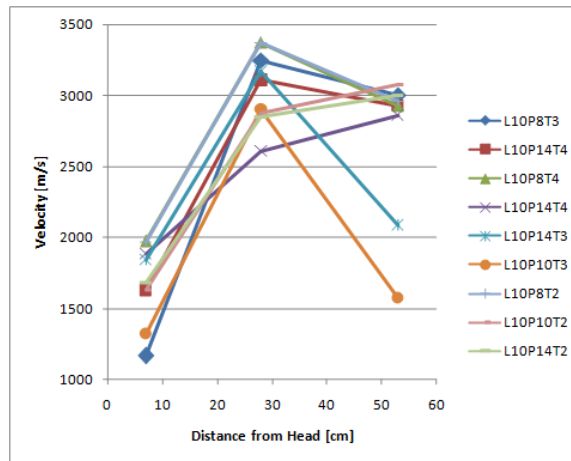
شکل ۴- (الف) نمودار فشار زمان ایده آل برای موج دتونیشن عبوری از روی سنسور فشار، (ب) نمودار واقعی فشار زمان برای موج دتونیشن برای مخلوط استوکیومتری اتیلن و اکسیژن در دمای ۳۰۰ کلوین و فشار ۱ اتمسفر [۸].

برای انتخاب نقطه رسیدن شوک در نمودار فشار زمان باید دقت فراوانی شود و چون در برخی موارد تشخیص درست این نقطه سخت می‌شود، لازم است تا محدوده خطا مشخص گردد. با توجه به این که نرخ داده برداری ۲۰۰ KHz است، انتخاب جابجایی یک نقطه منجر به تفاوت سرعت ۲۰۰ m/s و دو نقطه ۳۵۰ m/s می‌گردد. با فرض سرعت موج دتونیشن CJ ۲۸۴۰ m/s، بازه سرعت قابل قبول از ۲۶۰۰ تا ۳۱۰۰ m/s است که دارای خطایی حدود ۱۸٪ است.

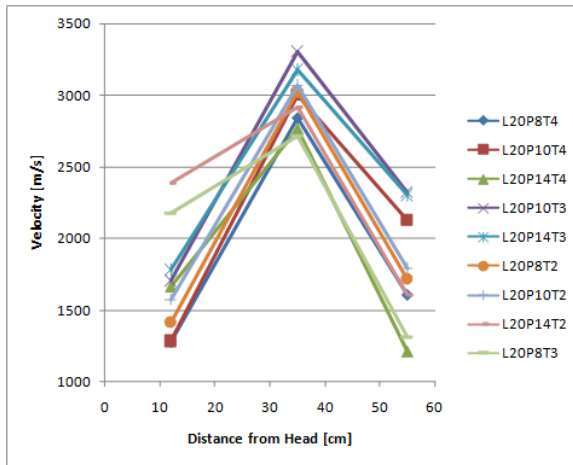
در لوله دتونیشن انتظار می‌رود تا سرعت موج از ابتدا لوله زیاد شود و با طی کوتاهی، سرعت موج، به سرعت CJ برسد و سپس بقیه مسیر را به همین سرعت به پایان لوله برساند. روند کلی افزایش سرعت در ابتدای لوله در نمودارهای شکل ۵ دیده می‌شود. به جز در سه مارپیچ در بقیه مارپیچها، سرعت موج دتونیشن در ناحیه‌ای حدود ۳۰ cm از ابتدای به حداکثر سرعت خود که در بازه ذکر شده برای سرعت دتونیشن است، می‌رسد. در ادامه حرکت، سرعت موج دتونیشن به طور محسوسی کاهش می‌یابد. البته این روند برای مارپیچهای L10P102، L10P144 و L10P142 به افزایش سرعت است. کاهش سرعت در ادامه مسیر را می‌توان به کیفیت پایین و یا رقیق بودن مخلوط در نزدیکی انتهای لوله مربوط دانست. کیفیت پایین مخلوط در این ناحیه ناشی از اختلاط مخلوط تازه با محصولات واکنش باقی مانده از آزمایش پیشین است که این اتفاق در حین مرحله تغذیه پیش می‌آید. علت دیگر را نیز می‌توان ناشی از وارد شدن هوای پیرامون لوله به درون آن در فاصله بین مرحله تغذیه و اشتعال دانست. مرجع [۹] نیز به همین پدیده اشاره کرده است.

کاهش سرعت موج در انتهای لوله در مورد مارپیچهای ۲۰ cm از سایرین بیشتر بوده و در مارپیچهای با طول ۱۰ cm کمتر از سایرین است. با بررسی بیشتر روی داده مشخص شد که هر چه فشار مخزن مربوط به آزمایشهای مارپیچ بیشتر باشد، کاهش سرعت در انتهای لوله کمتر است بنابراین کاهش کیفیت مخلوط در انتهای لوله بر کیفیت آن تأثیر گذار است. در عوض هر چه فشار مخزن کمتر باشد، افت سرعت در انتهای لوله بیشتر است.

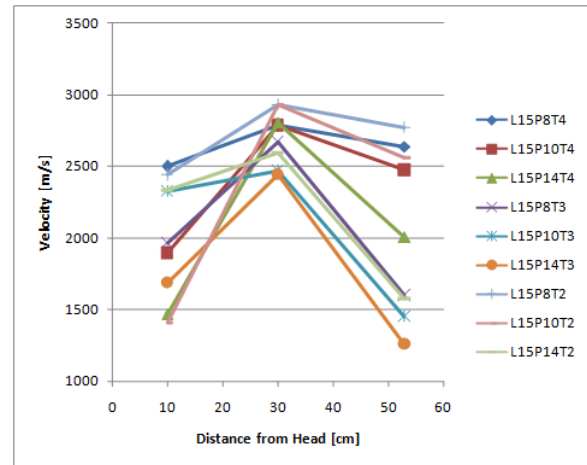
علاوه بر سرعت می‌توان از داده‌های فشار سنسورها نیز استفاده نمود. در مورد اولین سنسور هر چه مساحت زیر نمودار بیشتر باشد، نشان دهنده تراست بیشتر برای موتور است. در حالت ایده آل که مخلوط توسط انرژی اولیه بالا مشتعل می‌شود، نمودار فشار زمان سنسور دیواره ابتدا همانند نمودار (ب) شکل ۴ خواهد بود و در حالت استفاده از مارپیچ، هرچه مارپیچ بهتر عمل کرده و فرآیند DDT سریع تر باشد، نمودار فشار زمان باید شباهت بیشتری به شکل ۴ داشته باشد. لذا لازم است تا فشار بسیار سریع بالا رود و نیز کاهش فشار طول زمان بیشتر باشد. شکل ۶ نشان دهنده نمودار فشار زمان برای سنسور نصب شده بر روی ابتدای بسته لوله برای ۴ مارپیچ مختلف بوده که زمان شروع اشتعال با دایره مشخص شده است. با توجه به این نکته درمی‌یابیم که نمودار (ب) بیشترین زمان را داراست در حالی که نمودار (د) بیشترین بیشینه فشار را دارد.



(الف)

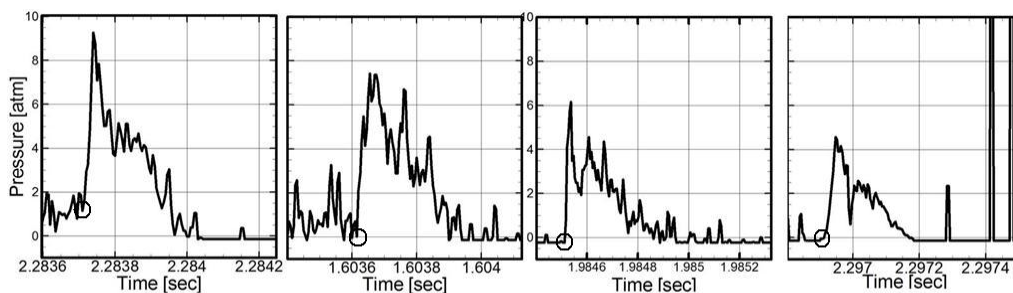


(ج)



(ب)

شکل ۵- نمودارهای سرعت-مکان موج دتونیشن درون لوله دتونیشن؛ (الف) ماریپچهای با طول ۱۰ cm، (ب) ماریپچهای با طول ۱۵ cm، (ج) ماریپچهای با طول ۲۰ cm.



(د)

(ج)

(ب)

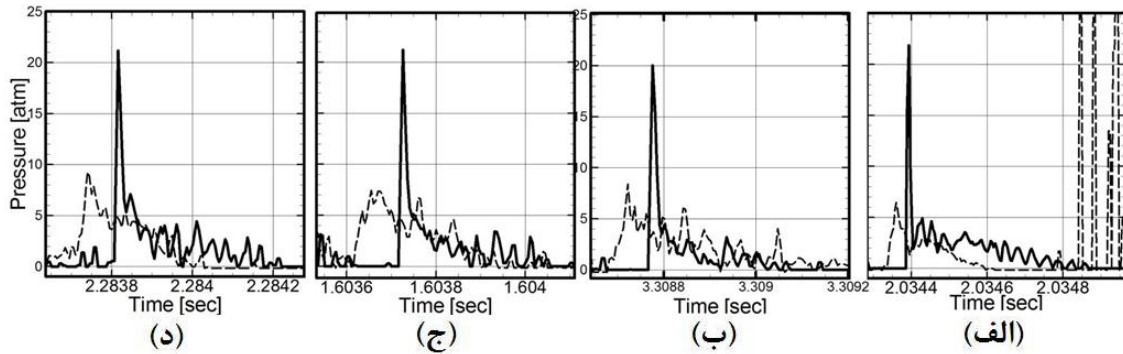
(الف)

شکل ۶- نمودارهای فشار زمان سنسور نصب شده روی دیواره ابتدا برای ماریپچ با طول: (الف): ۱۰ cm، (ب) ۱۵ cm، (ج) ۲۰ cm و گام ۱۴ mm، (د) ۲۰ cm و گام ۸ mm.

علاوه بر معیارهای ذکر شده برای انتخاب مناسب ماریپچ، لازم است موج دتونیشن بعد از ماریپچ تشکیل گردد. یکی از راه‌های تشخیص موج دتونیشن نگاه کردن به نمودار فشار زمان بعد از ماریپچ است که از اندازه بیشینه فشار و افزایش ناگهانی و کاهش تدریجی فشار می‌توان رخداد دتونیشن را بررسی کرد. بر اساس مدل CJ، بیشینه فشار موج دتونیشن برای مخلوط

FCCI2010-4186

مورد استفاده، برابر با ۲۲ اتمسفر است. در شکل ۷ چند نمونه از داده‌های سنسورهای بعد از ماریپیج‌های مختلف رسم شده است. با توجه به معیارهای گفته شده و نمودارها در می‌یابیم که در تمامی این موارد، دتونیشن پس از ماریپیج‌ها تشکیل شده است. نکته‌ای دیگر آن‌که، پس از افزایش ناگهانی فشار از صفر به بیشینه، فشار به طور ناگهانی تا ۵ اتمسفر کاهش ناگهانی دارد و پس از آن فشار به آرامی کاهش می‌یابد. که تقریباً مشابه با رفتار نمودار (ب) شکل ۴ است.



شکل ۷- نمودارهای فشار زمان برای ماریپیج با طول: (الف): ۱۰ cm، (ب) ۱۵ cm، (ج) ۲۰ cm و گام ۱۴ mm، (د) ۲۰ cm و گام ۸ cm. خط چین مربوط به سنسور روی دیواره ابتدا و خط توپر مربوط به اولین سنسور بعد از ماریپیج.

۶- انتخاب ماریپیج و معیارهای آن

معیارهایی که برای انتخاب مناسب‌ترین ماریپیج استفاده می‌شود مبتنی بر پدیده دتونیشن است. معیارها عبارتند از: ۱- حداقل طول DDT (بالا بودن سرعت نقطه اول)، ۲- تشکیل موج دتونیشن در انتهای ماریپیج، ۳- بالا بودن فشار در سنسور بعد از ماریپیج، ۴- بالا بودن سرعت در نقطه دوم، ۵- درصد موفقیت در تولید دتونیشن با معیار کیفی نمودار فشار زمان در هر سنسور. برای انتخاب لازم است تا معیارها برحسب اهمیت ضریب دهی شوند. سپس در هر معیار، ماریپیج‌ها از خوب به بد (مثلاً از فشار زیاد به فشار کم) مرتب شده و آنگاه از ۰ تا ۱۰۰ نمره دهی شوند. در انتها با جمع امتیازات ماریپیج‌های برتر انتخاب می‌شوند.

در جدول ۳ معیارهای انتخاب همراه با ضرایب آن‌ها ذکر شده است. در انتخاب معیارها و مخصوصاً ضرایب آن‌ها دقت شده تا بیشتر اثر پدیده DDT مهم باشد. لذا ضرایب سرعت DDT و اندازه بیشینه فشار سنسور بعد از ماریپیج، بسیار زیاد هستند.

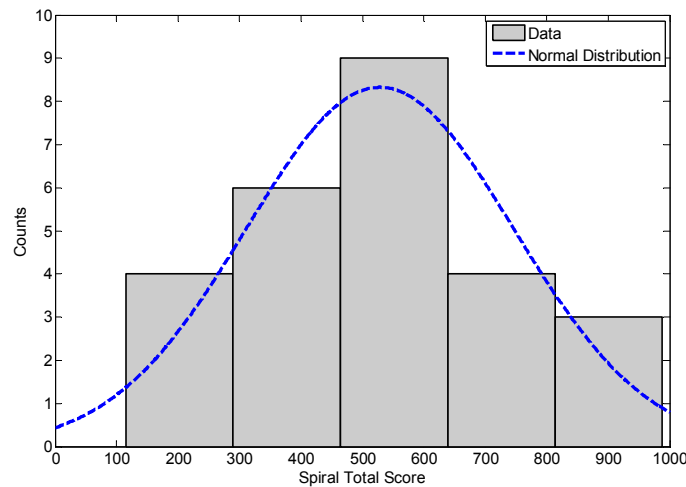
جدول ۳- معیارهای امتیازدهی به ماریپیج‌ها و ضریب هر کدام.

ردیف	معیار	ضریب
۱	سرعت نقطه اول (DDT)	۴
۲	سرعت نقطه دوم	۱
۳	فشار سنسور دوم	۵
۴	فشار سنسور سوم	۱
۵	مجموع درصد موفقیت کیفی دتونیشن در سه سنسور آخر	۱

جدول ۴- امتیازات ماریچ‌های مختلف بر اساس الگوی ارائه شده. در ستون‌های مربوط به سرعت، منظور از اول، دوم و سوم نقاط فرضی بدست آوردن سرعت و در ستون‌های فشار، منظور شماره سنسور از ابتدای لوله است.

امتیاز کل	بیشینه فشار [Bar]			سرعت [m/s]			نام ماریچ
	چهار	سوم	دوم	سوم	دوم	اول	
۱۱۵	۹	۹	۹	۱۶۰۸	۲۸۴۳	۱۲۷۹	L20P8T4
۲۳۲	۶	۱۱	۹	۱۵۷۳	۲۸۹۹	۱۳۲۴	L10P10T3
۲۸۰	۱۲	۱۴	۱۳	۱۷۱۸	۳۰۲۳	۱۴۱۳	L20P8T2
۳۳۲	۱۰	۱۴	۱۲	۱۲۵۷	۲۴۴۳	۱۶۸۷	L15P14T3
۵۱۲	۷	۱۱	۱۸	۱۲۱۳	۲۷۶۵	۱۶۶۷	L20P14T4
۲۵۶	۱۳	۱۲	۱۱	۲۳۲۲	۳۳۰۵	۱۷۰۶	L20P10T3
۳۰۵	۱۲	۱۶	۵	۱۶۰۰	۲۶۷۲	۱۹۶۴	L15P8T3
۳۷۱	۱۴	۱۴	۱۶	۲۱۲۹	۳۰۰۵	۱۲۸۵	L20P10T4
۵۱۰	۹	۱۳	۱۴	۱۳۱۰	۲۷۱۵	۲۱۷۴	L20P8T3
۳۱۹	۱۴	۱۵	۱۵	۳۰۰۴	۳۲۴۵	۱۱۶۷	L10P8T3
۴۵۹	۹	۱۶	۱۵	۲۵۵۶	۲۹۳۲	۱۴۱۰	L15P10T2
۵۶۴	۱	۱۵	۱۴	۱۵۷۴	۲۵۹۰	۲۳۳۰	L15P14T2
۶۱۹	۱۱	۲۰	۱۵	۱۴۵۰	۲۴۷۰	۲۳۲۷	L15P10T3
۴۳۱	۱۸	۲۱	۱۳	۲۴۷۲	۲۷۸۴	۱۸۹۳	L15P10T4
۵۴۰	۱۴	۱۴	۱۷	۳۰۷۵	۲۸۷۳	۱۶۳۳	L10P10T2
۵۹۳	۱۳	۱۳	۲۰	۱۷۹۱	۳۰۷۰	۱۵۷۲	L20P10T2
۵۳۴	۱۵	۱۶	۱۷	۲۰۰۶	۲۸۰۵	۱۴۶۷	L15P14T4
۶۵۹	۱۳	۱۶	۱۵	۱۶۰۶	۲۹۱۵	۲۳۹۱	L20P14T2
۶۰۴	۱۶	۱۹	۱۷	۲۸۶۱	۲۶۰۷	۱۸۸۷	L10P14T4
۷۶۸	۱۳	۱۴	۲۰	۲۰۸۷	۳۱۶۵	۱۸۴۵	L10P14T3
۵۹۹	۱۷	۱۸	۱۳	۲۶۳۸	۲۷۸۴	۲۴۹۶	L15P8T4
۶۷۲	۱۴	۱۵	۱۸	۳۰۰۳	۲۸۴۸	۱۶۸۶	L10P14T2
۷۲۴	۱۶	۱۴	۲۰	۲۳۰۱	۳۱۷۵	۱۷۸۰	L20P14T3
۸۴۴	۱۴	۱۴	۲۰	۲۹۶۳	۳۳۷۲	۱۹۶۷	L10P8T2
۹۱۲	۱۴	۱۴	۲۴	۲۹۲۸	۳۳۷۲	۱۹۷۴	L10P8T4
۹۸۸	۱۶	۲۴	۲۰	۲۷۶۸	۲۹۲۹	۲۴۳۸	L15P8T2

شکل ۸ نمودار توزیع امتیازهای کل داده شده به ماریچ‌ها را همراه با توزیع نرمال آن‌ها نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، توزیع امتیازها بسیار به توزیع نرمال نزدیک است که نشان دهنده درستی ضرایب اختصاص داده شده برای معیارهای انتخاب ماریچ می‌باشد.



شکل ۸: نمودار توزیع امتیازهای کل ماریچها و نیز توزیع نرمال آن‌ها.

۹- نتیجه‌گیری

ماریچ‌های مختلف با ابعاد هندسی مختلف مورد آزمایش قرار گرفته و اثر آن‌ها بر پدیده DDT نشان داده شد. از آنجا که انرژی داده شده مخلوط به اندازه انرژی بحرانی نیست، لذا پدیده DDT رخ می‌دهد. در این تحقیق برای کاهش طول و زمان DDT از ماریچ‌ها استفاده شد. در پدیده DDT بر اثر افزایش توربولانس و نیز انفجارهای پراکنده، سرعت سوزش بالا می‌رود تا حدی که به سرعت دتونیشن برسد. در همین حین نیز بیشینه فشار نیز افزایش می‌یابد. در ادامه بر اساس معیارهای مهمی چون زیاد بودن سرعت DDT و بیشینه فشار بعد از ماریچ، ماریچ‌ها امتیاز بندی شده که در نتیجه ماریچ‌های برتر عبارتند از L15P8T2، L10P8T4 و L10P8T2 که همگی دارای گام ماریچ ۸ mm هستند. ماریچ‌های بعدی دارای گام ۱۴ mm هستند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله ضمن قدردانی از پژوهشکده شهید یزدانی و پژوهشکده مهندسی جهاد و کشاورزی، کمال تشکر را از آقایان مهندسین باقری و ملکی دارد.

مراجع

- 1- Hekiri, H., "Parametric cycle analysis for pulse detonation engines", MS Thesis of Aerospace Engineering, The University of TEXAS at Arlington, 2005.
- 2- Nori, V., Lerma, N., Gustavsson, J., and Segal, C., "Forced Oscillations in a Mixed-Compression Inlet at Mach 3.5 for Pulse Detonation Engine Systems", Journal of Fluids Engineering, Vol. 128, pp 494-507, 2006.
- 3- Roya, G.D., Frolovb, S.M., Borisovb,A.A., and Netzer, D.W., "Pulse detonation propulsion: challenges, current status, and future perspective", Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 30, pp 545-672, 2004.
- 4- Plaster, M., McClenagan, R.D., Benz, F.J., Shepherd, J.E., and Lee, J.H.S., "Detonation of Cryogenic Gaseous Hydrogen-Oxygen Mixtures", Astronaut. Aeronaut., Vol. 133, pp 37 55, 1991.



FCCI2010-4186

سومین کنفرانس سوخت و احتراق ایران
تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - اسفند ماه ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی هوافضا

- 5- Hoke, J. L., Bradley, R. P., and Schauer, F. R., "Impact of DDT Mechanism, Combustion Wave Speed, Temperature, and Charge Quality on Pulsed-Detonation-Engine Performance", 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA 2005-1342.
- 6- Lee, S., Watts, J., Saretto, S., Pal, S., Conrad, C., Woodward, R., and Santoro, R., "Deflagration to Detonation Transition Processes by Turbulence-Generating Obstacles in Pulse Detonation Engines", Journal of Propulsion and Power, Vol. 20, pp 1026-1036, 2004.
- 7- Meyer, T. R., Hoke, J. L., Brown, M. S., Gord, J. R., and Schauer, F. R., "Experimental Study Of Deflagration-To-Detonation Enhancement Techniques In A H₂/Air Pulsed-Detonation Engine", 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA-2002-3720.
- 8- Wintenberger, E., Austin, J.M., Cooper, M., Jackson, S., and Shepherd, J.E., "An analytical model for the impulse of a single-cycle pulse detonation tube", 37th AIAA /ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA 2001-3811.
- 9- Lu, F.K., and Wilson, D.R., "Some perspectives on pulse detonation propulsion systems", Available from: http://arc.uta.edu/publications/cp_files/1051-ISSW24.pdf